

REKAYASA DAN UJI COBA ALAT KABEL LAYANG Expo-2000 GENERASI-3 DALAM PENGELUARAN KAYU PADA LERENG CURAM (*Engineering and Trial Test of Skyline Cable of Expo-2000 Generation-3 on Extracting Logs at the Steep Terrain*)

Wesman Endom¹ & Soenarno¹

¹Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan
Jl. Gunung Batu . 5, Bogor. 16610. Telp. (0251)-8633378, Fax. (0251)-8633413
e-mail: wesmanendom@yahoo.com

Diterima 3 Januari 2014, Disetujui 19 September 2014

ABSTRACT

The engineering and trial testing on the skyline system tool of third Generation Expo-2000 powered by 13-HP engine was conducted to look into its performance for exstracting wood logs from the forest at steep terrain. This undertaking took place at Forestry District Resort of Tanggeng, Forestry District of Cianjur, the State-Owned Forest Enterprise Unit III, Cibatu Village, West Java. Results revealed that working productivity was 1.72 m³ of wood/ hour, with the entire cots of tool ownership and wood extraction at Rp 138,587.39/ hour or being equal to Rp 80,346.45/ m³.

Keywords: Prototipe Expo-2000 Generation-3, skyline system, exstract logs, steep area, productivity, operation cost

ABSTRAK

Rekayasa dan uji coba rekayasa alat pengeluaran kayu sistem kabel layang prototipe Expo-2000 Generasi-3 dilakukan pada areal curam di Cibatu, BKPH Tanggeng, KPH Cianjur, Perum Perhutani Unit III Jawa Barat. Penelitian ini bertujuan menguji kinerja alat tersebut untuk mengeluarkan kayu, khususnya dari aspek produktivitas kerja dan biaya. Hasil uji coba menunjukkan bahwa produktivitas alat prototipe Expo-2000 Generasi-3 adalah sebesar 1,72 m³/jam dengan biayao perasi Rp 138.587,39/ jam atau Rp 80.346,45/m³.

Kata kunci: Prototipe Expo-2000 Generation-3, kabel layang, pengeluaran kayu, topografi

I. PENDAHULUAN

Pekerjaan pengeluaran kayu dari hutan bukanlah suatu pekerjaan yang mudah dan murah, karena kayu selain memiliki bobot tidak ringan, juga dalam pelaksanaannya sering terkendala oleh akses yang terbatas, lereng curam dan jarak yang jauh. Untuk itu, dukungan teknologi tepat guna sangat diperlukan agar pekerjaan menjadi lebih mudah dan manusiawi juga mampu meningkatkan produktivitas kayu yang dapat dikeluarkan dari lokasi tebangan. Dalam dunia usaha kehutanan modern, mengeluarkan atau memindahkan kayu dari tempat tebangan ke tempat pengumpulan

dapat dilakukan dengan sistem kabel layang. Pengeluaran kayu tersebut dilakukan dengan cara menarik ke arah atas lereng atau ke arah bawah lereng.

Kendala yang sering dihadapi di lapangan saat kegiatan pemanenan kayu khususnya di Jawa Barat antara lain:

1. Keadaan lapangan berbukit dengan lereng curam,
2. Keberadaan pohon untuk dijadikan tiang terbatas,
3. Lahan untuk tempat menempatkan alat dan pengumpulan kayu terbatas,
4. Jarak dari tempat tebangan ke lokasi

pengumpulan kayu jauh akses jalan dari tempat pengumpulan sangat buruk (melintasi lembah, sungai dengan karakteristik tanah yang labil dan liat).

Pada tahun 2012, uji coba kabel layang menggunakan mesin diesel 13 PK telah dilakukan pada jarak lebih dari 400 m tetapi hasilnya kurang baik. Hal ini disebabkan konstruksi dengan rangkaian alat penggerak - *gearbox marine* - *reducer* - gigi eksentrik - teromol penggulung) yang dihubungkan melalui rantai mudah bergeser sehingga menyebabkan kerusakan. Pada awalnya pergeseran rantai tersebut terjadi karena muatan logs menabrak tunggak yang berdampak pada berubahnya kedudukan gigi eksentrik dan gigi penghubung pada alat.

Berdasarkan pengalaman tersebut di atas, pada tahun 2013 dilakukan rekayasa baru dengan menyempurnakan prototipe Expo-2000 Generasi-2 menjadi protipe Expo-2000 Generasi-3. Penyempurnaan dilakukan pada kontruksi alat, menambah tromol penggulung kabel (*drum*) menjadi dua buah dan mengubah rangkaian mekanisme kerja menjadi “mesin penggerak - *gearbox marine* - gigi eksentrik - *reducer* - teromol penggulung. Secara prinsip, perubahan tersebut menukar posisi kedudukan gigi eksentrik dengan *reducer*. Dengan perubahan rangkaian tersebut maka titik lemah akibat tekanan beban dipindahkan pada *reducer*. Selain merubah posisi gigi eksentrik dengan *reducer* juga dilakukan penggantian rantai penghubung yang sebelumnya tunggal menjadi sepasang dengan ukuran lebih besar. Untuk meningkatkan efektifitas penarikan pada masing-masing teromol penggulung kabel dilengkapi dengan *reducer*. Untuk memudahkan proses menurunkan muatan logs digunakan alat henti (*stopper*) yang dipasang pada kabel utama. Penelitian uji coba Expo-2000 Generasi-3 bertujuan untuk mengetahui kinerja alat yang meliputi produktivitas kerja dan biaya operasi.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Petak 99 Bagian Kesatuan Pemangkuan Hutan Tanggeng, Kesatuan Pemangkuan Hutan Cianjur dengan

kondisi topografi curam (kemiringan lereng > 30°). Kegiatan uji coba Expo-2000 Generasi-3 dilakukan pada bulan Oktober 2013.

B. Bahan dan Peralatan

Bahan yang dipakai dalam penelitian uji coba adalah berupa sortimen kayu bulat (*logs*) hasil tebangan yang masih berada di petak tebangan. Adapun peralatan yang digunakan adalah hasil rekayasa alat kabel layang Expo-2000 Generasi-3, jam henti (*stop watch*) dan meteran pita untuk mengukur panjang dan diameter *logs*.

C. Prosedur Kerja

1. Tahapan penelitian

- Menyiapkan bahan berupa plat besi, besi U ukuran 3 x 3 cm, besi H ukuran 3 x 3 cm, pipa besi berbagai ukuran, as, gir, gigi eksentrik, sproket, ring penjepit (*snapping*), rantai, *reducer*, dan sebagainya.
- Membuat desain/rancangan rekayasa alat Expo-2000 Generasi-3
- Melakukan perakitan alat di Laboratorium Keteknikan dan Pemanenan Hasil Hutan
- Melakukan uji pendahuluan (*pre test*) untuk memastikan alat dapat berfungsi dengan baik, dan perbaikan apabila ditemukan permasalahan.
- Uji coba operasi alat untuk mengeluarkan kayu di lapangan

2. Data yang dikumpulkan

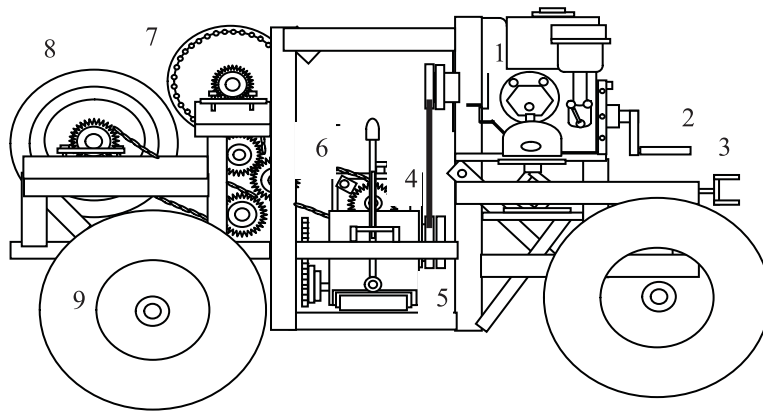
Data yang dikumpulkan meliputi panjang dan diameter kayu, jarak pengeluran kayu dan waktu kerja pengoperasian alat yang meliputi pemasangan dan pembongkaran instalasi alat di lapangan, waktu muat dan bongkar muatan logs, waktu kereta kosong menuju lokasi logs dan waktu penarikan muatan ke tempat pembongkaran muatan.

3. Perbaikan desain alat

a. Alat penarik kayu kabel layang

Pada konstruksi tahun 2012 kedua teromol penggulung kabel dengan satu *reducer* ditempatkan di bagian belakang secara berdekatan dan arah memanjang konstruksi alat (Gambar 1).

Pada prototipe tahun 2013 konstruksinya dirubah dengan komposisi dan posisi seperti disajikan pada Gambar 2.

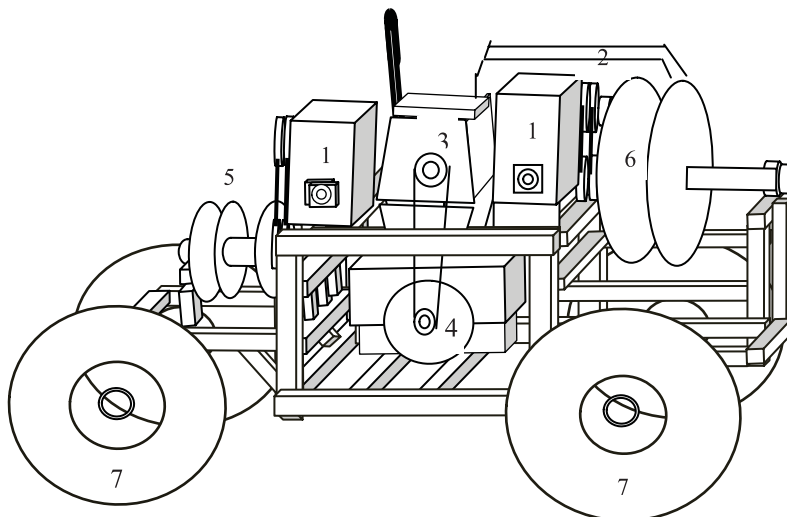


Keterangan (Remarks):

1. Alat penggerak (Powering machine)
2. Pemutar penghidup Alat disel (Handle for power-on machine)
3. Pengatur ketinggian posisi Alat bensin (alternatif) (Regulator for height position of the gasoline-driven device (alternative))
4. Alat pelambat putaran (Reducer 1 : 100)
5. Peredam (Gear box marine 1:2,5)
6. Gigi eksentrik (Eccentric gear)
7. Teromol penarik (Pull drum)
8. Teromol (Drum endless)
9. Roda traktor (Tire tractor)

Sumber (Source) : Endom (2013)

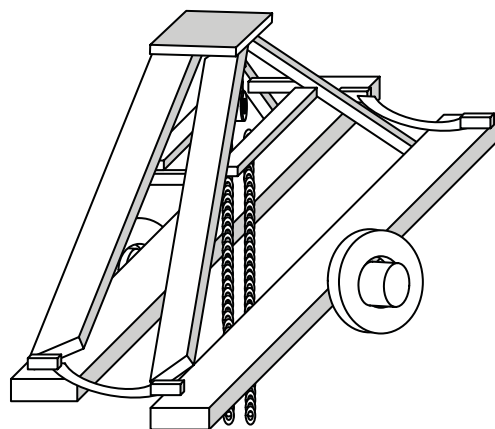
Gambar 1. Skema teknis alat kabel layang Expo-2000 Generasi-2
Figure 1. Technical scheme of the skyline Expo-2000 Generation-2



Keterangan (Remarks):

1. Alat pelambat putaran (Reducer 1 : 100)
2. Gigi eksentrik (Eccentric gear)
3. Peredam (Gear box marine 1:2,5)
4. Mesin diesel 13 PK (Diesel engine of 13 HP)
5. Drus endless ganda (Endless Double drum)
6. Drus endless (Endless drum)
7. Roda traktor pertanian (Agriculture tractor wheel)

Gambar 2. Skema konstruksi Expo-2000 Generasi-3
Figure 2. Construction scheme of the Expo-2000 Generation-3



Gambar 3. Skema konstruksi pengangkut kayu manual yang dimodifikasi dengan pemasangan takel

Figure 3. Construction scheme of the modified manual log hauler with tackle

Selain itu juga dibuat alat angkut manual sistem pasang lepas (Gambar 3) dengan modifikasi takel yang dipasang menggantung pada alat angkut. Pemasangan takel dimaksudkan untuk membantu laju angkutan saat kondisi mendaki.

Untuk kegiatan penelitian tahun 2013, pengaturan dudukan pada alat kabel layang dibuat sedemikian rupa agar penempatan Alat dan komponen lainnya termasuk rantai penghubung, berada pada ruang yang lebih luas. Hal ini dilakukan untuk memudahkan saat memperbaikinya bila terjadi sesuatu yang tidak diinginkan.

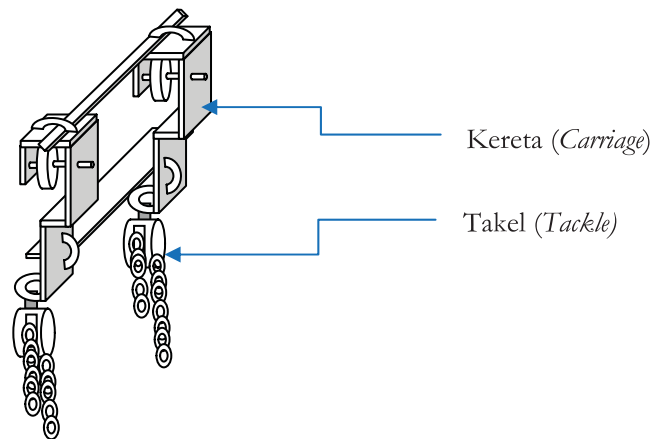
Perbaikan lain yang dilakukan adalah penguatan *reducer*, penggantian rantai dan gir dari ukuran 50 menjadi 60 serta pemasangan rem teromol.

b. Kereta angkut kayu kabel layang

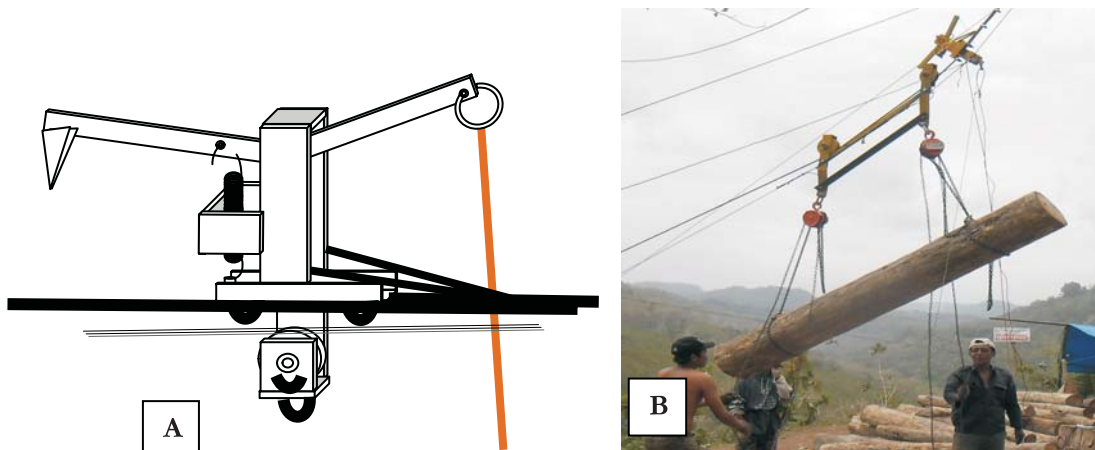
Rancangan kereta angkut kabel yang digunakan tahun 2013 dilengkapi dengan takel untuk memudahkan melakukan pasang-bongkar muatan kayu dengan cepat, sebagaimana disajikan pada Gambar 4.

c. Alat penghenti muatan (*stopper*)

Alat penghenti muatan (*stopper*) dibuat dengan model kontruksi seperti disajikan pada Gambar 5.



Gambar 4. Skema kereta angkut kayu yang dilengkapi dengan takel
Figure 4. Scheme of hauler carriage equipped with a tackle



Gambar 5. Skema stopper (A), Stopper saat operasi di lapangan (B)
Figure 5. Scheme of stopper (A), Stopper in the field operation (B)

D. Analisis Data

Produktivitas dan biaya operasi dihitung menurut prosedur yang diuraikan oleh FAO (1992). Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap dengan model umum (Wijaya, 2000) sebagai berikut:

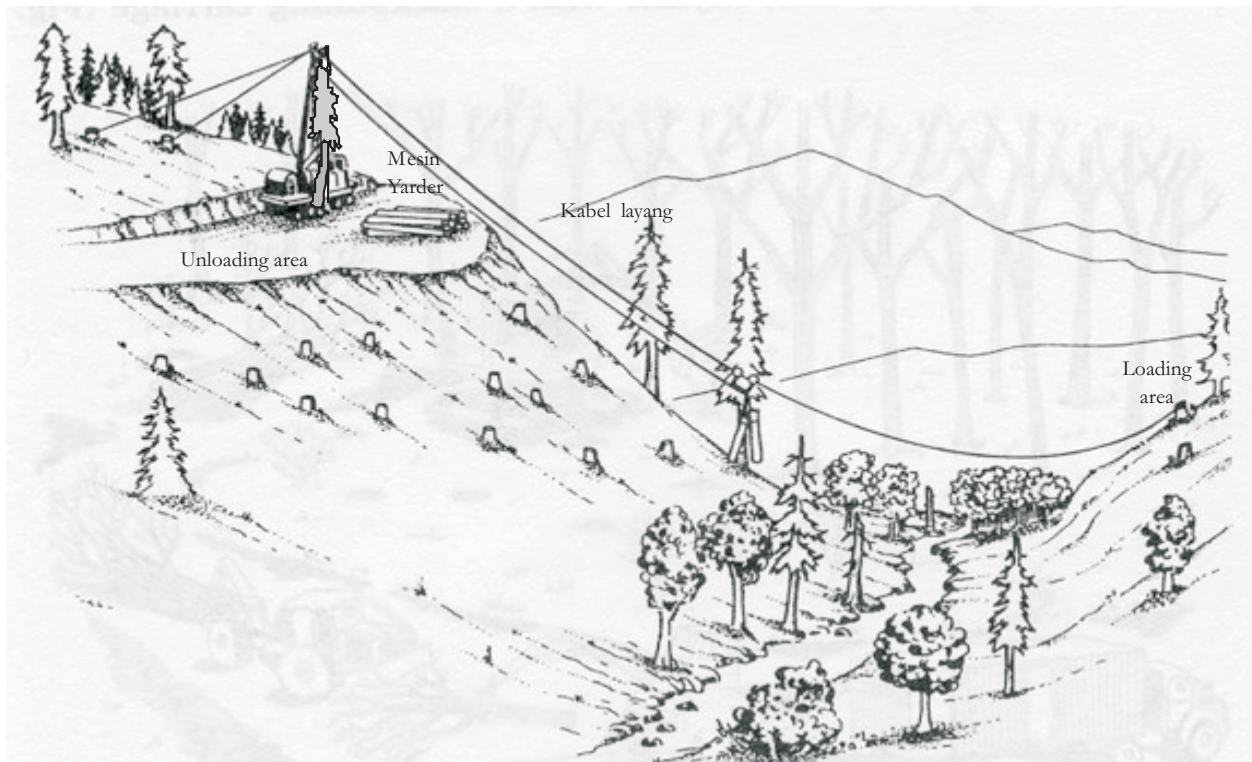
$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Di mana: Y_{ij} = nilai pengamatan; μ = Nilai rata-rata umum; α_i = Pengaruh perlakuan dan ϵ_{ij} = kesalahan percobaan.

Dari persamaan ini kemudian dicari regresi korelasinya menggunakan PWSAT versi.18 untuk melihat hubungan antara produktivitas dalam m^3/jam dengan volume dan jarak pengeluaran kayu (m).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara skematis, pemasangan alat kabel layang prototipe Expo-2000 Generasi-3 disajikan pada



Gambar 6. Skema modifikasi gambar pemasangan kabel layang Expo-2000 Generasi-3
Figure 6. Installing modified scheme of skyline Expo-2000 Generation-3

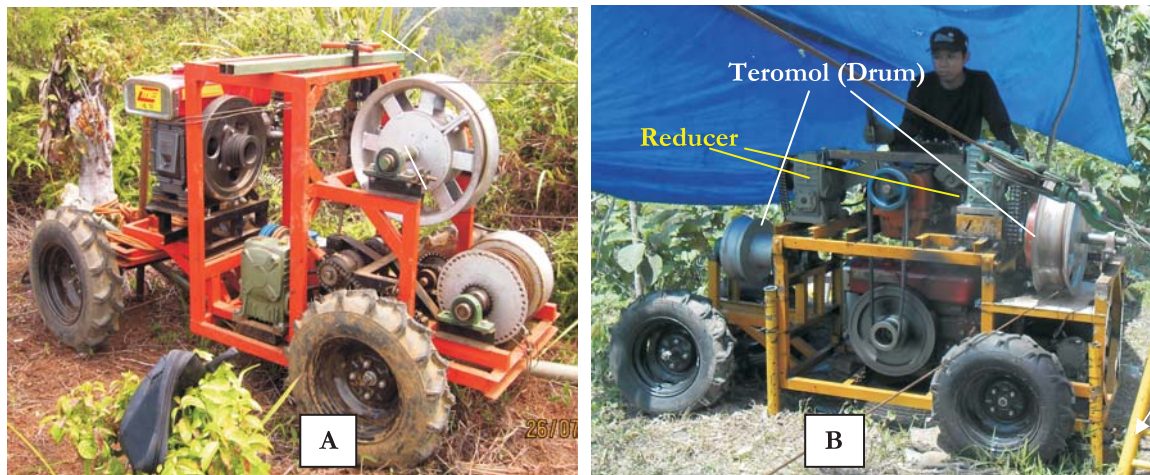
Sumber (Source): FESA 2001 yang dimodifikasi (Modified from FESA (2001))

Gambar 6.

A. Konstruksi Alat

Pada tahun 2013 konstruksi Alat dirubah dan diperbaiki dengan menambah satu *reducer*. Kini setiap satu gigi eksentrik terhubung dengan satu *reducer* dan satu teromol, sehingga teromol mana yang akan digunakan untuk menarik kayu tergantung pilihan. Selain itu, posisi teromol penggulung dipasang tidak arah memanjang melainkan menyamping dari konstruksi alat. Teromol yang satu diletakkan di sebelah kiri mesin

penggerak dan teromol kedua dipasang di sebelah kanan mesin. Mesin penggerak dipasang di bagian tengah konstruksi (lihat Gambar 7B). Teromol yang kanan hanya untuk fungsi sebagai kabel utama tanpa ujung (*endless*) sedangkan tromol sebelah kiri digunakan untuk menarik muatan kayu. Selain itu, posisi gigi eksentrik dipasang sebelum *reducer*. Perubahan juga terjadi pada ukuran gigi dan rantai dari ukuran 50 menjadi ukuran 60 dan dibuat sepasang. Dengan perubahan tersebut, prototipe Expo-2000 Generasi-3 memiliki konstruksi yang lebih kuat



Gambar 7. Prototipe Expo-2000 Generasi-2 (A) dan Expo-2000 Generasi-3 (B)
Figure 7. Prototype machine of Expo Generation-2 (A) and Expo Generation-3 (B).

dan stabil.

Kelebihan *skyline system Expo-2000* Generasi-3 meliputi beberapa aspek berikut:

1. Posisi rantai penghubung berada di tengah sehingga memungkinkan terjadi keseimbangan dalam menahan beban
2. Posisi gigi eksentrik berada di tengah konstruksi dengan posisi agak di bagian atas dan di bagian pinggir konstruksi sehingga pengoperasian dan perbaikan mesin lebih mudah.
3. Posisi rantai dari *reducer* ke teromol dipasang vertikal sehingga ruang dan ukuran lebar mesin bisa lebih kecil. Hal ini bisa memudahkan pengaturan dalam penempatan mesin pada saat diangkut ke dalam truk.
4. Kecepatan putaran tak membahayakan (100 - 140 rpm) sehingga memungkinkan menambah kekuatan daya tarik dan menambah keawetan mesin. Selain itu operasi menjadi bisa lebih mudah terkontrol.

B. Kinerja Alat

1. Produktivitas kerja

Hasil pengukuran kinerja alat selama uji coba di lapangan dapat dilihat pada Lampiran 1 yang menunjukkan bahwa produktivitas kerja pengeluaran kayu berkisar antara 0,32-3,72 m³/jam dengan rata-rata sebesar 1,72 m³/jam. Produktivitas kerja ini lebih tinggi ($\pm > 2$ kali) dibandingkan Expo-2000 Generasi 2 yang hanya mencapai rata-rata 0,82 m³/jam (Endom, 2013).

Peningkatan produktivitas tersebut diakibatkan oleh perubahan konstruksi posisi alat penggerak dan tromol, penempatan *reducer* pada masing-masing tromol dan penggantian rantai dari tunggal menjadi sepasang dengan ukuran lebih besar.

Penempatan posisi alat penggerak pada bagian tengah konstruksi dan diletakkan di antara kedua tromol menyebabkan kondisi alat lebih stabil dari guncangan, baik akibat berfungsinya Alat itu sendiri atau pada proses penggulangan kabel untuk menarik muatan kayu. Kestabilan alat Expo-2000 Generasi 3 ini juga didukung oleh perbaikan kereta angkut (*carriage*) berpasangan yang masing-masing dilengkapi dengan takel (Gambar 4) sehingga memudahkan kegiatan muat dan bongkar muatan kayu. Adanya sepasang kereta maka muatan dapat diikat pada kedua ujungnya sehingga arah muatan kayu menjadi sejajar dengan jalur kabel dan posisi muatan bergerak stabil. Kondisi muatan kayu demikian memperingan daya tarik kabel pada tromol, akibatnya waktu penarikan muatan menjadi lebih cepat.

Rekapitulasi produktivitas kerja berdasarkan jumlah muatan kayu disajikan pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan bahwa ada variasi produktivitas kerja alat yang diakibatkan oleh perbedaan jumlah muatan kayu yang diangkut. Produktivitas kerja untuk jumlah muatan kayu sebanyak 1-2 batang berkisar antara 1,45-1,56 m³/jam, sedangkan untuk jumlah muatan sebanyak 3-4 batang produktivitasnya berkisar antara 2,10-2,11 m³/jam.

Tabel 1. Produktivitas alat berdasarkan jumlah muatan kayu
Table 1. Productivity based on number of the loaded log

Jumlah muatan, batang (<i>Number of load, log</i>)	Volume kayu (<i>Wood volume</i>), m ³	Jarak pengeluaran (<i>Hauling distance</i>), m	Waktu pengeluaran kayu, menit (<i>Time of logsextracting, minutes</i>)			Jumlah (<i>Total</i>)	Produktivitas, m ³ /jam (<i>Productivity, m³/hour</i>)
			Kosong (<i>Empty</i>)	Muat dan penarikan (<i>Loading and extracting</i>)	Bongkar*) (<i>Unloading</i>)		
1	0,16	111,00	1,59	2,02	2,34	6,01	1,56
2	0,15	125,11	1,77	1,96	2,85	6,58	1,45
3	0,21	111,56	1,64	1,90	2,28	5,82	2,10
4	0,19	114,38	1,70	1,79	1,93	5,42	2,11
Rata-rata (<i>Average</i>)	0,17	114,12	1,68	1,92	2,35	5,96	1,72

Keterangan (*Remarks*): *) memindahkan kayu dari tempat penurunan ke tempat pengumpulan kayu dengan jarak ± 8 m
(*removing logs from landing site to logs yard, about 8 m distanced*)

Produktivitas kerja alat Expo-2000 Generasi-3 dinilai belum maksimal sehubungan dengan beberapa hal:

a. Lokasi kayu yang akan diangkut tidak terkumpul pada satu tempat dekat dengan tempat muat bahkan bertebaran di kiri dan kanan jalur kabel layang. Kondisi lokasi kayu yang demikian menyebabkan sistim kabel layang tidak dapat bekerja secara optimal. Idealnya, sistim pengeluaran kayu dengan sistim kabel layang bekerja pada kondisi dengan jarak sarad yang tetap.

b. Lokasi pengumpulan kayu di tempat pembongkaran muatan kayu relatif jauh (± 10 m) sehingga mengganggu proses penarikan kayu berikutnya.

c. Muatan kayu yang diangkut pada umumnya berukuran kecil sehingga untuk memaksimalkan daya tarik kabel sering dilakukan pengikatan beberapa gelondong kayu sehingga memerlukan tambahan waktu.

d. Tidak tersedianya alat komunikasi yang memadai antara regu kerja yang bertugas pada bagian pemuatan dan operator alat di tempat pembongkaran muatan.

Tabel 2. Analisis sidik ragam pada jumlah muatan dengan produktivitas
Table 2. Analysis of variance on number of logs and productivity

Peubah bebas (*Dependent variable*): Produktivitas(*Productivity*)

Sumber (<i>Source</i>)	Jumlah kuadrat (<i>Sum of squares</i>)	Derajat bebas (<i>Degrees of freedom</i>)	Jumlah kuadrat rata-rata (<i>Mean square</i>)	F _{hitung} (F _{cal.})	Taraf nyata (<i>Sig.</i>)
Model terkoreksi (<i>Corrected model</i>)	3,819 ^a	3	1,273	3,352	0,027
Konstanta (<i>Intercept</i>)	134,890	1	134,890	355,202	0,000
Jumlah muatan kayu (<i>Number of logs</i>)	3,819	3	1,273	3,352	0,027
Kesalahan percobaan (<i>Error</i>)	17,849	47	0,380		
Jumlah (<i>Total</i>)	173,339	51			
Jumlah terkoreksi (<i>Corrected total</i>)	21,668	50			

Untuk mengetahui perbedaan produktivitas kerja dengan jumlah muatan logs dilakukan uji statistik menggunakan PWSTAT versi.18, dan hasilnya disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Hasil analisis pada Tabel 2 tersebut di atas menunjukkan bahwa nilai $F_{hitung} = 3,352 > F_{0,05 (3,47)} = 2,81$. Hal ini berarti bahwa terdapat perbedaan nyata produktivitas alat dengan jumlah muatan kayu. Uji beda nyata terkecil antara jumlah muatan dengan produktivitas disajikan pada Tabel 4.

Tabel 3 menunjukkan bahwa produktivitas pengeluaran kayu dengan jumlah muatan kayu 1-2 batang lebih rendah dibandingkan jumlah muatan kayu sebanyak 3-4 batang. Tidak ada perbedaan

nyata produktivitas pengeluaran kayu antara jumlah muatan kayu 1 dan 2 batang serta antara 3 dan 4 batang. Produktivitas kerja alat cenderung lebih dipengaruhi oleh volume muatan dan jarak pengeluaran kayu.

Untuk mengetahui pengaruh faktor volume muatan dan jarak angkutan kayu terhadap produktivitas kerja alat dilakukan analisis regresi menggunakan PWSTAT versi.18 yang hasilnya disajikan pada Tabel 4. Tabel 4 menunjukkan bahwa $F_{hitung} = 150,020 > F_{0,05 (1,48)} = 4,04$ sehingga dapat disimpulkan bahwa ada hubungan yang nyata antara produktivitas dengan volume kayu yang diangkut dan jarak angkut.

Tabel 4. Uji beda nyata terkecil jumlah muatan dengan produktivitas

Table 4. Test of least significant different between number of logs and productivity

(I) Jumlah muatan (Number of logs)	(J) Jumlah muatan (Number of loads)	Beda rata-rata (Mean difference), (I-J)	Kesalahan baku (Std. error)	Nyata (Sig.)	Selang kepercayaan (Confidence Interval), 95%	
					Batas bawah (Lower bound)	Batas atas (Upper bound)
1,00	2,00	0,115	0,239	0,634	-0,367	0,597
	3,00	-0,539	0,239	0,029	-1,020	-0,057
	4,00	-0,549	0,250	0,033	-1,052	-0,045
2,00	1,00	-0,115	0,239	0,634	-0,597	0,367
	3,00	-0,653	0,290	0,029	-1,238	-0,069
	4,00	-0,664	0,299	0,032	-1,266	-0,061
3,00	1,00	0,539	0,239	0,029	0,057	1,020
	2,00	0,653	0,290	0,029	0,069	1,238
	4,00	-0,010	0,299	0,973	-0,613	0,592
4,00	1,00	0,549	0,250	0,033	0,045	1,052
	2,00	0,664	0,299	0,032	0,061	1,266
	3,00	0,010	0,299	0,973	-0,592	0,613

Keterangan (Remarks): *, Beda nyata pada tingkat 0,05 (Mean different is significant at the 0,05 level). Kesalahan jumlah kuadrat rata-rata (The error term is mean square (Error) = 0,380)

Tabel 4. Analisis sidik ragam produktivitas dengan volume kayu dan jarak angkut.

Table 4. Analysis of variance among productivity, wood volume and extracting distance

Model	Jumlah kuadrat (Sum of Squares)	Derajat bebas (Degree of freedom)	Kuadrat rata-rata (Mean square)	F_{hitung} ($F_{cal.}$)	Taraf nyata (Sig.)
Regresi (Regression)	18,680	2	9,340	150,020	,000 ^a
Sisa (Residual)	2,988	48	0,062		
Jumlah (Total)	21,668	50			

Peubah (Predictors): Tetap (Constant), Volume kayu (Wood volume), Jarak penarikan (Extracting distance)

Hasil analisis lebih lanjut, yang disajikan pada Tabel 5 menunjukkan bahwa produktivitas pengangkutan kayu berbanding lurus dengan volume kayu yang diangkut tetapi berbanding terbalik dengan jarak angkut. Bentuk persamaan regresi hubungan produktivitas pengangkutan kayu dengan volume kayu dan jarak angkut sebagai berikut:

$$Y = 1,29 + 8,706 X_1 - 0,009 X_2$$

Di mana: Y = Produktivitas (m^3/jam); X_1 = jarak penarikan (m) dan X_2 = volume kayu (m^3)

Dari persamaan regresi tersebut di atas dapat diartikan bahwa semakin jauh jarak penarikan maka produktivitas alat semakin tinggi. Sebaliknya makin berat volume kayu yang ditarik mengakibatkan produktivitas alat makin rendah. Pengalaman di lapangan menunjukkan bahwa pada jarak sarad lebih 100 m sering terjadi gangguan komunikasi antara regu kerja di lokasi pemuatan dengan operator alat dan regu kerja di tempat pembongkaran muatan. Gangguan komunikasi tersebut selain menyebabkan kurang efektifnya waktu kerja juga meningkatkan resiko keselamatan kerja.

Tabel 5. Analisis regresi produktivitas dengan volume kayu dan jarak angkut

Table 5. Analysis of regression between productivity, logs volume and extracting distance

Model	Koefisien tidak baku (Unstandardized coefficients)		Koefisien baku (Standardized coefficients)		Taraf nyata t_{hitung} ($t_{cal.}$) (Sig.)
	b	Kesalahan baku (Std. Error)	b		
Konstantan (Constant)	1,290	0,153		8,436	0,000
Jarak penarikan (Extracting distance), m	8,706	0,509	0,952	17,120	0,000
Volume kayu disarad (Skidded Logs volume), m^3	-0,009	0,001	-0,396	-7,123	0,000

Peubah gantung (Dependent variable): Produktivitas (Productivity)

Dari hasil analisis regresi diketahui koefisien korelasi diperoleh sebesar r sebesar 0,928 atau $r^2 = 0,862$ sedangkan nilai r *adjusted* sebesar 0,856 dengan simpangan baku nilai tengah (Se) = 0,24951. Dari besaran nilai r tersebut terlihat bahwa ada hubungan yang erat antara jarak dengan volume.

2. Analisis biaya

Perhitungan biaya dilakukan berdasarkan jumlah harga pembelian alat penggerak dan komponen utama alat Ekspo-1000 Generasi-3 (lihat Lampiran 2) serta biaya pemasangan dan pembongkaran alat di lokasi, kebutuhan bahan bakar minyak dan pelumas serta upah operator alat. Diasumsikan umur pakai alat prototipe Expo-2000 Generasi-3 adalah 3 tahun atau jam kerja alat 3.000 jam/tahun, tenaga 13 HP, jam kerja 6 jam/hari, asuransi 3% per tahun, bunga

bank 15 % per tahun, pajak 2% per tahun dan upah operator alat Rp 120.000,-/hari dan tenaga kerja Rp 50.000,-/hari. Untuk mengoperasikan alat diperlukan 6 orang terdiri dari 1 orang operator alat, 2 orang bertugas di tempat pemuatan, 2 orang di tempat pembongkaran muatan dan 1 orang sebagai petugas komunikasi. Waktu pemasangan dan pembongkaran alat selama 3 hari sebanyak 5 orang dengan upah Rp 50.000,-/orang.

Berdasarkan atas asumsi tersebut di atas, perhitungan biaya pemilikan dan pengoperasian alat kabel layang Expo-2000 Generasi-3 disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6 menunjukkan bahwa biaya operasi pengeluaran kayu adalah Rp 138.587/jam. Dengan prestasi kerja rata-rata sebesar 1,72 m^3/jam maka biaya pengeluaran kayu adalah Rp 80.346,45/ m^3 . Biaya operasi tersebut lebih murah

Tabel 6. Biaya pemilikan dan operasi pengeluaran kayu menggunakan Expo-2000 Generasi-3
Table 6. Owning and operation costs of log extraction using Expo-2000 generation-3

No	Komponen biaya (<i>Cost element</i>)	Biaya penyaradan, Rp/jam (<i>Skidding cost, Rp/ hour</i>)
1	Penyusutan alat (<i>Depreciation</i>)	62.250,00
2	Bunga bank (<i>Bank interest</i>)	13.050,00
3	Asuransi alat (<i>Insurance for tool</i>)	217,50
4	Pajak (<i>Tax</i>)	1.450,00
5	Bahan bakar (<i>Fuel</i>)	11.934,00
6	Oli dan pelumas (<i>Oil and lubricants</i>)	1.193,40
7.	Pemeliharaan (<i>Maintenance</i>)	2.416,67
8.	Upah operator (<i>Wage</i>)	28.333,00
9.	Pasang dan bongkar alat (<i>Setting and rigging</i>)	14.742,82
Jumlah (<i>Total</i>)		138.587,39

bila dibandingkan yang selama ini dilakukan secara konvensional. Menurut informasi dari para blandong setempat menyebutkan bahwa biaya pengeluaran kayu dengan cara dipikul sebesar \pm Rp 300.000,00/m³. Keuntungan lain cara pengeluaran kayu menggunakan kabel layang ini adalah mengurangi beban fisik pekerja sehingga lebih manusiawi.

Di Turki, biaya pengeluaran kayu pada hutan tanaman alpine menggunakan sistem kabel layang dengan alat yarder *Koller K-300* adalah Rp 40.000,00/m³ (Senturk, 2007). Hal ini disebabkan karena kayu-kayu yang akan diangkut volumenya banyak dan sudah terkumpul di tempat pemuatan (*loading point*). Menurut Olund (2001), kabel layang akan ekonomis apabila diterapkan pada kegiatan pemanenan kayu sistem tebang habis dengan target produksi \pm 50.000 m³/tahun. Sistem kabel layang sudah berkembang pesat di luar negeri dengan teknologi *Wyssen cable system* atau *skyline crane* (Lloyd (2007). Bahkan, teknologi tersebut sudah digunakan secara luas untuk kegiatan pemanenan kayu di hutan daun jarum (*Alpine*) di Swiss, Canada, New Zeland, Scotlandia, hutan tropis di Sudan dan bagian negara Afrika, serta hutan rawa mangrove (Womack; K.C. and H.I. Laursen 1994).

Berdasarkan analisis biaya dan prestasi kerja (Tabel 6) maka secara ekonomi alat kabel layang

Expo-2000 Generasi-3 mempunyai prospek yang menguntungkan. Untuk mengetahui jumlah minimal volume kayu agar kembali modal (biaya investasi) digunakan rumus sebagai berikut:

Biaya investasi =

$$\text{Volume} \times \left(\frac{\text{Biaya operasi kayu}}{\text{Produktivitas pengeluaran}} \right)$$

$$\text{Rp } 72.500.000 = V (\text{m}^3) \times \frac{\text{Rp } 138.587,39/\text{jam}}{1,72 \text{ m}^3/\text{jam}}$$

$$V (\text{m}^3) = \frac{72.500.000 \times 1,72}{138.587,39}$$

$$= 899,79 \text{ m}^3 \text{ dibulatkan menjadi } 900 \text{ m}^3.$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dengan biaya investasi alat Rp 72.500.000,- dan biaya operasi sebesar Rp 138.587,39/jam dan produktivitas alat 1,72 m³/jam, maka biaya investasi akan kembali setelah produksi mencapai minimal 900 m³ atau setelah alat dioperasikan dalam waktu 524 jam. Apabila jam kerja adalah \pm 6 jam/hari maka alat tersebut akan kembali modal setelah digunakan selama 88 hari atau sekitar 3 bulan.

IV. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Produktivitas pengeluaran kayu sistim kabel layang Expo-2000 Generasi-3 bervariasi antara 0,32-3,72 m³/jam dengan rata-rata adalah 1,72 m³/jam, tergantung jarak dan jumlah muatan kayu yang diangkut. Produktivitas kerjanya belum optimal disebabkan posisi kayu yang akan diangkut belum terkumpul di lokasi pemuatan kayu, tersebar di luar jalur kabel layang, tidak didukung alat komunikasi yang memadai dan jarak antara lokasi pembongkaran muatan relatif jauh dengan tempat pengumpulan kayu. Biaya pengeluaran kayunya adalah Rp 138.587,39/jam atau Rp 80.346,45/m³, biaya ini lebih murah dibandingkan cara manual dengan pemukulan kayu, khususnya di daerah yang sulit dan tidak tersedia akses jalan angkutan. Secara teknis dan ekonomis, alat kabel layang Expo-2000 Generasi-3 cukup prospektif diterapkan untuk pengeluaran di daerah sulit.

B. Saran

Guna meningkatkan produktivitas kerja penerapan sistim kabel layang Expo-2000 Generasi-3 perlu prakondisi yang baik meliputi posisi kayu sedapat mungkin terkumpul dekat dengan tempat pemuatan dan atau jalur kabel layang, alat komunikasi yang memadai berupa *Handy Talky*, dan tenaga kerja khusus untuk melakukan pengumpulan kayu di lokasi pembongkaran muatan.

DAFTAR PUSTAKA

Elias. (1988). Pembukaan Wilayah Hutan. Bogor: Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.

Forest Engineering South Africa (FESA) (2001) South Africa Cable Yarding Safety and

Operating Handbook. Scottsville: Forest Engineering South Africa. <http://www.icfr.ukzm.ac.za/collaboration/fesa/fesa-publication/>. Diakses 18 Januari 2014

FAO. (1974). Logging and log transport in tropical high forest. Rome: FAO Forestry Development Paper. No. 18.

Llyold. A H. (2007). Extraction of timber by Skyline Crane. Unasylva vol 7 (2). Imperial Forestry Institute. Oxford. England. : <http://www.fao.org/dacrop/x5396e/x5369e05.htm>. Diakses 4 Juli 2007.

Olund D. (2001). The Future cable logging. The International Mountain Logging and 11th Pacific Northwest Skyline Symposium. <http://depts.washington.edu/sky2001/proceedings/papers/olund.pdf>. Diakses 25 Juni 2007.

Nugroho, B. (2002). Analisis Biaya Proyek Kehutanan. Bogor: Yayasan Penerbit Fakultas Kehutanan IPB.

Sarles RL & Luppold, WG. (1986). Techno-economic Analysis of Conventional Logging Systems Operating from Stump to Landing. West Virginia. USA: USDA Forest service.

Sastrodimedjo, S. (1965). Perhitungan biaya pemakaian alat-alat setiap satuan. Bogor: Lembaga Penelitian Ekonomi Kehutanan.

Senturk, N., Ozturk T. & Demir M. (2007). Productivity and Cost in the Course of Timber Transportation with the Koller K.300 Cable System in Turkey. *Journal of Building and Environment*. 42 (5) 2107-2113.

Womack, KC. & Laursen HI. (1994). Dynamic Characteristics of a Small Skyline Logging System with a Guyed Tailspar. *Journal of Forest Engineering* 1 (6), 35-49.

Lampiran 1. Hasil pengukuran pengeluaran kayu menggunakan alat Expo-2000 Generasi-3
Appendix 1. Measurement of wood extraction using Expo-200 Generation-3

No	Jumlah muatan, batang (Number of load, log)	Volume (m ³)	Jarak angkut (Hauling distance), m	Waktu penngeluaran kayu, menit (Time of logs extracting minutes)				Produktivitas, m ³ /jam (Productivity, m ³ /hour)
				Kosong (Empty)	Muat dan tarik (Loading and extracting)	Bongkar (Unloading)	Jumlah (Total)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0,03	80	0,7	2,3	1,0	3,9	0,41
2	1	0,05	80	0,8	2,0	2,2	5,0	0,59
3	1	0,09	90	1,5	1,7	1,7	4,9	1,11
4	1	0,08	93	1,5	1,8	1,2	4,5	1,12
5	1	0,26	85	1,3	3,8	1,3	6,4	2,49
6	1	0,20	100	1,6	1,4	1,8	4,7	2,55
7	1	0,13	98	1,6	1,5	2,1	5,2	1,47
8	1	0,18	90	1,6	2,0	1,9	5,4	1,94
9	1	0,09	104	1,6	1,5	2,1	5,1	1,09
10	1	0,17	105	1,6	2,6	1,2	5,4	1,85
11	1	0,08	89	1,4	1,8	1,3	4,4	1,15
12	1	0,18	80	0,0	1,6	1,3	4,3	2,46
13	1	0,09	95	1,6	1,5	1,8	4,9	1,15
14	1	0,24	90	1,5	1,8	3,8	7,0	2,05
15	1	0,19	91	1,5	1,7	2,2	5,4	2,12
16	1	0,31	102	1,8	2,2	2,8	6,8	2,73
17	1	0,15	95	1,5	2,6	4,2	8,3	1,07
18	1	0,04	152	1,8	2,0	4,4	8,2	0,32
19	1	0,18	150	1,9	2,2	2,8	6,9	1,58
20	1	0,20	152	2,1	2,4	3,8	8,3	1,43
21	1	0,20	152	2,5	1,8	2,5	6,8	1,77
22	1	0,24	150	2,2	2,1	2,6	6,9	2,06
23	1	0,24	150	2,2	2,1	3,7	8,0	1,77
24	1	0,20	150	2,2	2,3	3,8	8,2	1,48
25	1	0,12	152	2,0	2,2	1,4	5,6	1,33
Rata-rata (Mean)		0,16	111,00	95,54	1,6	2,0	2,3	6,0
1	2	0,15	103	1,2	2,3	1,7	5,2	1,69
2	2	0,16	98	1,6	1,7	1,7	4,9	1,99
3	2	0,13	85	1,4	1,4	1,5	4,3	1,84
4	2	0,15	88	1,4	1,5	1,6	4,5	2,00
4	2	0,11	150	2,2	2,3	3,3	7,7	0,85
5	2	0,11	150	2,1	2,3	3,6	8,0	0,79
6	2	0,16	152	1,9	2,0	4,4	8,3	1,14
7	2	0,17	150	2,1	2,2	3,6	7,9	1,33
8	2	0,20	150	2,0	2,1	4,3	8,4	1,41
Rata-rata (Mean)		0,15	125,11	106,00	1,8	2,0	2,8	6,6

Lampiran 1. Lamjutan
Appendix 1. Continued

No	Jumlah muatan, batang (Number of load, log)	Volume (m ³)	Jarak angkut (Hauling distance), m	Waktu penngeluaran kayu, menit (Time of logs extracting minutes)				Produktivitas, m ³ /jam (Productivity, m ³ /hour)
				Kosong (Empty)	Muat dan tarik (Loading and extracting)	Bongkar (Unloading)	Jumlah (Total)	
1	3	0,14	90	1,1	1,7	1,8	4,5	1,83
2	3	0,11	85	0,8	2,2	1,0	3,9	1,75
3	3	0,16	103	1,5	1,5	1,9	4,9	1,92
4	3	0,19	90	1,6	1,8	1,8	5,2	2,25
5	3	0,14	90	1,6	1,6	2,0	5,2	1,62
6	3	0,24	92	1,6	1,5	2,3	5,3	2,70
7	3	0,23	150	2,3	2,6	3,1	8,0	1,73
8	3	0,28	152	2,2	2,1	3,5	7,8	2,17
9	3	0,37	152	2,2	2,2	3,2	7,6	2,95
Rata-rata (Mean)		0,21	111,56	98,67	1,6	1,9	2,3	5,8
1	4	0,14	103	1,6	1,7	1,8	5,1	1,63
2	4	0,36	130	2,2	1,9	1,8	5,8	3,72
3	4	0,17	96	1,6	1,5	1,5	4,5	2,29
4	4	0,24	90	1,6	1,5	2,2	5,3	2,70
5	4	0,16	91	1,5	1,7	2,2	5,4	1,73
6	4	0,13	152	1,9	2,2	1,9	6,0	1,36
7	4	0,18	150	2,0	2,2	2,4	6,6	1,64
8	5	0,14	103	1,3	1,7	1,7	4,7	1,83
Rata-rata (Mean)		0,19	114,38	102,00	1,7	1,8	1,9	5,4
Rata-rata keseluruhan (Total of mean)		0,17	114,12	98,95	1,6	2,0	2,4	6,0
Minimum (Minimum)		0,03	80,00	1,50	0,0	1,4	1,0	3,9
Maksimum (Maximum)		0,37	152,00	148,00	2,5	3,8	4,4	8,4
Sd		0,07	28,51	27,71	0,5	0,4	1,0	1,4
CV(%)		42,20	25,00	24,00	0,4	0,4	0,7	0,4

Lampiran 2. Rincian biaya Rekayasa alat kabel layang prototipe Expo-2000 Generasi-3
Appendix 2. Detail costs of making Expo-2000 skyline Generation 3

No	Komponen bahan (<i>Component</i>)	Harga/unit (<i>Price/unit</i>)	Jumlah (<i>Number</i>)	Satuan (<i>Unit</i>)	Jumlah biaya (<i>Total cost</i>) (Rp)
	Mesin diesel (<i>Diesel machine</i>)	3000000	1	Buah (<i>Piece</i>)	3.000.000
1.	Tirfor	7500000	1	Buah (<i>Piece</i>)	7.500.000
2.	Takel (<i>Tackle</i>)	1000000	5	Buah (<i>Piece</i>)	5.000.000
3.	Kabel (<i>Cable</i>)	10000000	2 rol (B+S)	Buah (<i>Piece</i>)	10.000.000
4.	Reducer	3000000	2	Buah (<i>Piece</i>)	6.000.000
5.	Gigi eksentrik (<i>Eccentric gear</i>)	2500000	2	Buah (<i>Piece</i>)	5.000.000
6.	Gir pasangan (<i>Double Gear</i>)	500000	2	Buah (<i>Piece</i>)	1.000.000
7.	Rantai tipe 60 (<i>Chain type 60</i>)	400000	2	Buah (<i>Piece</i>)	800.000
8.	Gear box marine	3500000	1	Buah (<i>Piece</i>)	3.500.000
9.	Teromol endless (<i>Drum endless</i>)	3000000	1	Buah (<i>Piece</i>)	3.000.000
10.	Teromol kombinasi (<i>Combination drum</i>)	4000000	1	Buah (<i>Piece</i>)	4.000.000
11.	Roda pertanian (Wheel)	750000	4	Buah (<i>Piece</i>)	3.000.000
12.	Pully	125000	2	Buah (<i>Piece</i>)	250.000
13.	Rantai penghubung (<i>Chains</i>)	150000	2	Buah (<i>Piece</i>)	300.000
14.	Rem teromol (<i>Break of drum</i>)	500000	1	Buah (<i>Piece</i>)	500.000
15.	As	500000	2	Buah (<i>Piece</i>)	500.000
16.	Besi kanal (<i>Iron solid pipe</i>) 5 x 5 x 5	300000	4	Buah (<i>Piece</i>)	1.200.000
17.	Besi pipa (<i>Iron pipe</i>)	250000	3	Buah (<i>Piece</i>)	500.000
18.	Plat besi (<i>Iron plate</i>) 6 mm	500000	1	Buah (<i>Piece</i>)	500.000
19.	Plat besi (<i>Iron plate</i>) 4 mm	300000	1	Buah (<i>Piece</i>)	300.000
20.	Kawat las (<i>Wilding</i>)	200000	4	Buah (<i>Piece</i>)	800.000
21.	Mata gurinda potong (<i>Cutting grind</i>)	10000	50	Buah (<i>Piece</i>)	500.000
22.	Mata gurinda gosok (<i>Plating grind</i>)	10000	15	Buah (<i>Piece</i>)	150.000
23.	Bearing	50000	12	Buah (<i>Piece</i>)	600.000
24.	Baud, bearing	200000	1 set	Macam2 (<i>Severe</i>)	200.000
25.	Pengerjaan (<i>Processing</i>)	80000	4	Bulan (<i>Month</i>)	14.400.000
Jumlah (<i>Total</i>)					72.500.000